



TITLE:

一定撓み下におけるスギの形成と 赤外スペクトル

AUTHOR(S):

角谷, 和男; 長谷川, 庸作; 山田, 正

CITATION:

角谷, 和男 ...[et al]. 一定撓み下におけるスギの形成と赤外スペクトル.
木材研究 : 京都大学木材研究所報告 1969, 46: 10-18

ISSUE DATE:

1969-03

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/53037>

RIGHT:

一定撓み下におけるスギの形成と赤外スペクトル

角 谷 和 男*・長谷川庸作*・山 田 正*

Kazuo SUMIYA*, Yousaku HASEGAWA* and Tadashi YAMADA*: Formation of SUGI trees (*Cryptomeria japonica* D. DON) under a constant deflection and their infrared spectra.

は じ め に

樹木の枯死体である木材に一定のひずみを与えると、このひずみを保つに要する外力は時間とともに減少するいわゆる応力緩和現象を示すことはよく知られている。このようなひずみを樹木に、すなわち木材形質の形成過程で与える場合は、すでに形成された材質による応力緩和と外部よりの力学的刺激に対するレスポンスを有する材質形成が同時に行なわれ、化学緩和論的な考察により木材形成の機構を究明しうる可能性が生じる。

一方、外部よりの力学的刺激とくに曲げ荷重に対して生じる形質には、針葉樹の圧縮側、広葉樹の引張側に偏心と同時に生じるアテがあり、その特性については当研究所の尾中による報告¹⁾を始め、多くの組織学的、化学的研究が報告されている。その2, 3の特徴は次の通りである。

(1) 解剖学的特徴：圧縮アテでは細胞壁が厚く、春夏材の境界がはつきりしない。S₁層が正常材に較べて厚く、S₂層はhelical checkを有し、かつフィブリルが軸方向に対し45°の配向をなし、S₃層はない²⁾。引張アテではS₁層が正常材に較べて薄く、SG層が存在し、細胞壁にslip lineが認められる³⁾などである。

(2) 化学成分：圧縮アテではセルロース、ガラクトグルコマンナンが正常材より少なく、リグニン、ガラクトンが多いが、とくにリグニンはS₂層の外層に異常に多く分布している⁴⁾。引張アテではセルロース、ガラクトンが正常材より多く、リグニン、キシランが少ない⁵⁾などである。

さらに、最近このようなアテ形成を組織学的、化学的な観点から経時的に追求する動きが現われ、SG層の発達に伴ないX線回折像が鮮明になりSG層の結晶度が増加すること⁶⁾、圧縮アテのS₂層に見られるhelical cavityがセルロースの不規則な配置によつて生じること⁷⁾、分化しつつある*Eucalyptus*のアテ材においては細胞壁にSG層が含まれるのみならず原形質より放出された物質のいちじるしい堆積のあること⁸⁾などが明らかとなつて来た。

このように外部よりの力学的刺激に対応して形成された形質は、正常材に比して異なっていることは明らかで、力学的挙動との関連において形質の変化を解明することはきわめて興味深い。

* 木材物理部門 (Division of Wood Physics)

このような観点から WARDROP らが *Eucalyptus* に対して行なつた⁶⁾ とほぼ同様の方法により、3～5年生のスギ幼木に一定の撓みを与え、この撓みを保持するに要する力の経時的变化を測定し、また同時にそれに対応する分子構造の変化を赤外スペクトルにより測定し、若干の資料を得たのでここに報告する。

なお、本実験には住友林業株式会社近江試験地および京都市北区中川、山本氏所有の林地を使用させていただいた。ここに謹んで同社研究室の荻本博、西田滋両氏および山本徳次郎氏の御厚意に深甚の謝意を表する。

実験方法

1) 曲げに要する力の経時的变化

供試木として滋賀県志賀町北小松および京都市北区杉阪の山林に成育する3～5年生のスギ (*Cryptomeria japonica* D. DON) の幼木を用いた。

曲げ撓みは、Fig. 1 に示すように、幹が水平になるところまで立木のままで与え、つねに一定に保持した。Fig. 1 の矢印のところにはばね秤で負荷し、上方支点を離れるに要する力をもつて、撓みを保持するに要する力として経時的に読み取った。

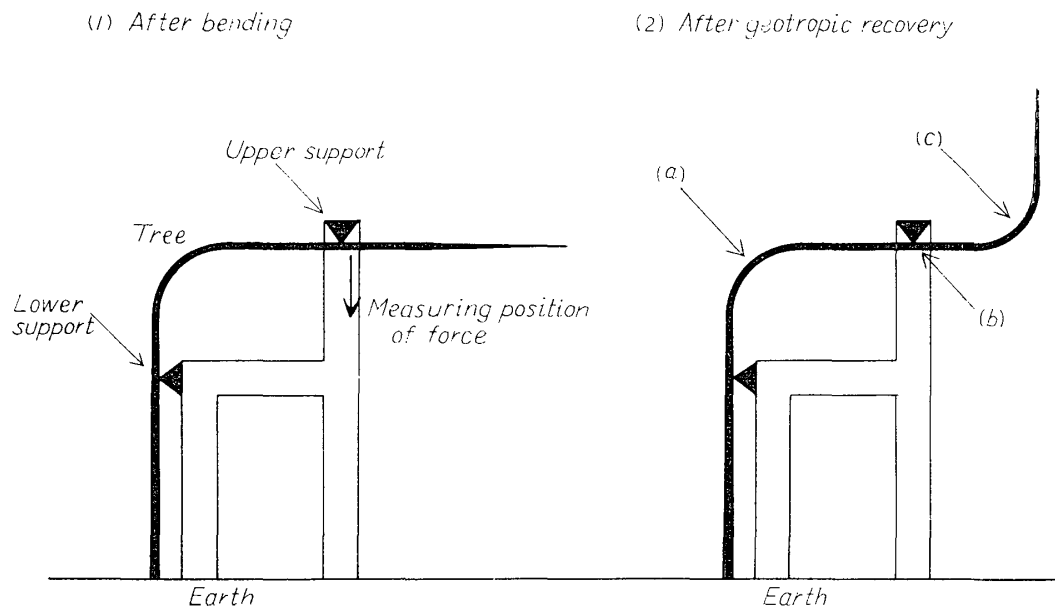


Fig. 1 Diagrammatic representation of the experiment for a constant deflection. (a), (b) and (c) indicate the portion of the maximum curvature between the upper and lower supports, the upper support and the portion of maximum curvature of the geotropic recovery of the stem, respectively, at which specimens for infrared spectrum are obtained.

実験は、形成時期の違いによる荷重変化を知るために、北小松におけるものでは春材形成期の1968年5月10日より12本、杉阪におけるものでは夏材形成末期の1968年8月21日より15本、それぞれ開始した。なお杉阪材については肥大などによる力の増加を調べるために、台杉の同一萌芽材を4本選び、間けつ的に水平まで曲げるに要する力をも測定した。

2) 赤外スペクトル

春材形成期に実験を開始したものでは、力が最初に緩和しきつた時期、力が復帰し初期の力にまで達した時期、さらに細胞活動休止期に入り力の増加が止まった時期の3段階において各1～2本の試料木を得た。また夏材形成末期より始めたものでは、緩和しきつた時期と最初の荷重には達しないが復帰の傾向を示した時期の2段階において各2本の試料木を得た。

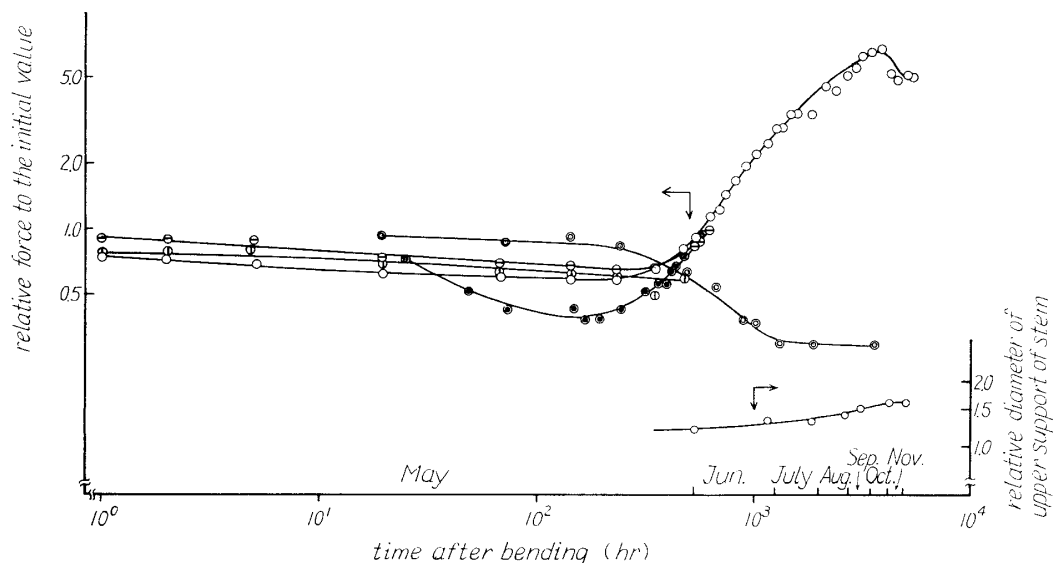
この試料の与えられた撓みによる最大曲点、上の支点および屈向性を示した部分の最大曲点から、それぞれ約2cmの部分をや切りし、さらに幹を最初水平に曲げた時の下側および上側から、それぞれマイクロームで接線方向の連続切片(厚さ15～20 μ)を切り出し、顕微赤外分光計(日本分光 DS-402G および IRM-1 型)で4000～650 cm^{-1} の赤外スペクトルを測定した。

なお、標準試料として北小松材については同一生育条件の無荷重材の、杉阪材については同一萌芽無荷重材の任意の半径における連続切片の赤外スペクトル、さらに一定撓みを与えたまま枯死せしめた材の最大曲点における圧縮側、引張側連続切片の赤外スペクトルをも測定した。

実 験 結 果

1) 曲げに要する力の経時的变化

春材形成期および夏材形成末期にそれぞれ開始した実験結果の代表的なものを Fig. 2 および Fig. 3 にそれぞれ示す。これらはすべて初期荷重を1として換算したものである。Fig. 2 の●印は WARDROP らの *Eucalyptus* による実験⁶⁾を再プロットしたものであり、○印は杉阪



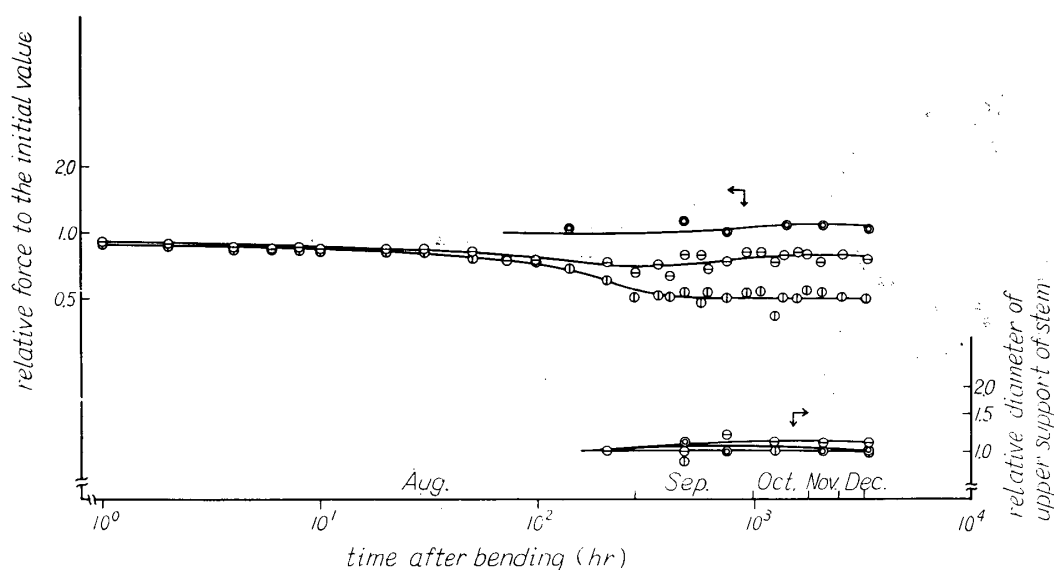


Fig. 3 The process of relative force required to keep the stems horizontally and relative increase of stem diameter at upper support shown in Fig. 1 (from the end of late wood formation, Aug. 21, 1968).

- : up to Jan. 8, 1969 (relaxed)
- ⊖ : up to Jan. 8, 1969 (slightly recovered)
- ⊙ : in the intermittent bending

地区の杉を伐採直後研究室内で曲げ、その枯死過程における荷重変化を示したものである。また Fig. 3 の⊙印は間歇的に曲げ荷重を測定したものの結果である。

Fig. 2, Fig. 3 とも実験中の木材の肥大経過の 1 例を、上方支点付近の材の直径の変化（初期を 1 とする）として示してある。

両図を比較すると、力の復帰が始まるのが春材形成期では 400 時間位からであるのに対し、夏材形成末期では 600 時間位からとなつている。これは樹木の活動の時期的な盛衰と関連しているものと考えられる。

力の増加は両実験ともに 10 月まで続いた。これは伊東らの報告⁹⁾ によるスギの形成層活動の終了期とほぼ一致する。

力の増加については種々の要因が考えられ、肥大を考慮した応力計算が今後の問題となるが、材の直径の増加が春に実験を開始したものでたかだか 160 % であるのに対し、力の増加が 700 % 程度を示すということからも、このような力の増加が単なる肥大によるものではないことが考えられる。

なお、枯死過程におけるスギにおいてはその過程において急激な力の減少を見るが、これは水分の損失に関連するものと考えられる。この力の急激な減少を見るまでの時間挙動は林内の試験木に較べ相対的に大きな差は見られず、立木のまま曲げ撓みを与えた場合の最初の緩和はすでに形成された材質にその多くを負つていると考えられる。

2) 赤外スペクトルの変化

一定撓みの下で Fig. 2, Fig. 3 の力の経過を示した各材の木口断面の写真を Photo. 1~6 に示し、枯死木 (Photo. 4) および夏期に実験を開始し緩和しきつた材 (Photo. 5) を除いては

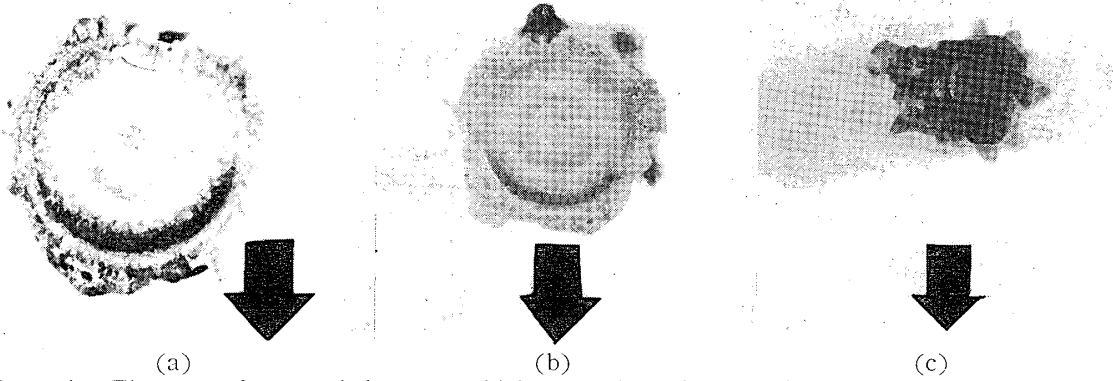


Photo. 1. The cross figures of the stem which gave the values marked as $-\oplus-$ on the graph in Fig. 2. (a), (b) and (c) show the same signs in the right illustration of Fig. 1, respectively. The arrows indicate the lower side of the bent stem.

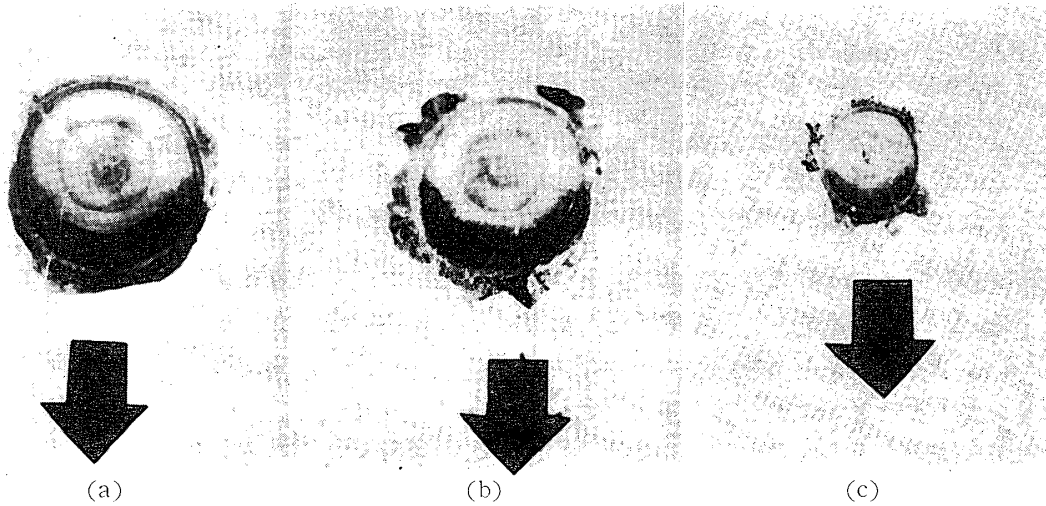


Photo. 2. The cross figures of the stem which gave the values marked as $-\ominus-$ on the graph in Fig. 2. (a), (b), (c) and the arrows indicate the same signs as in photo. 1, respectively.

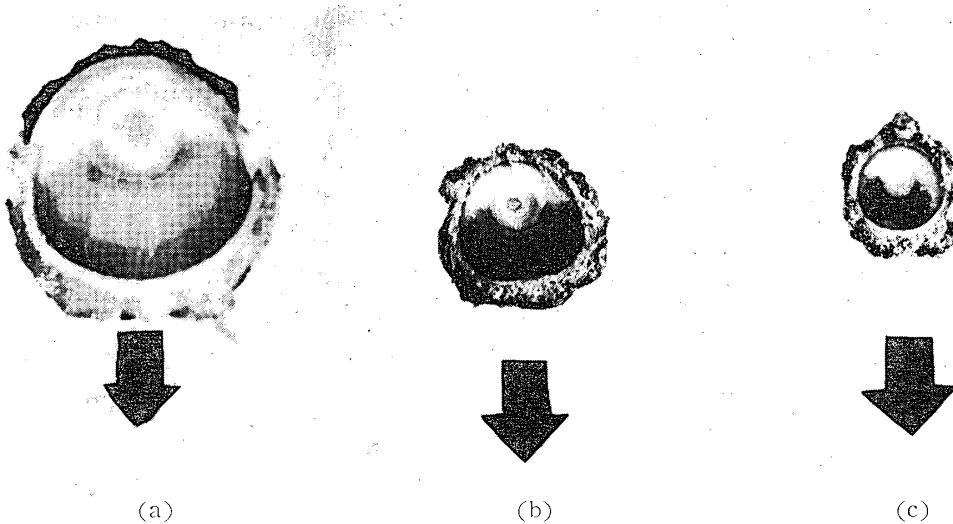


Photo. 3. The cross figures of the stem which gave the values marked as $-\bigcirc-$ on the graph in Fig. 2. (a), (b), (c) and the arrows indicate the same signs as in photo. 1, respectively.

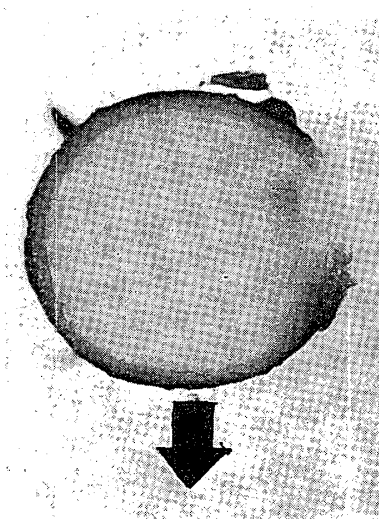
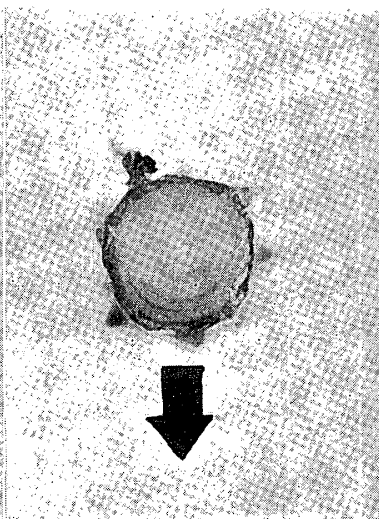
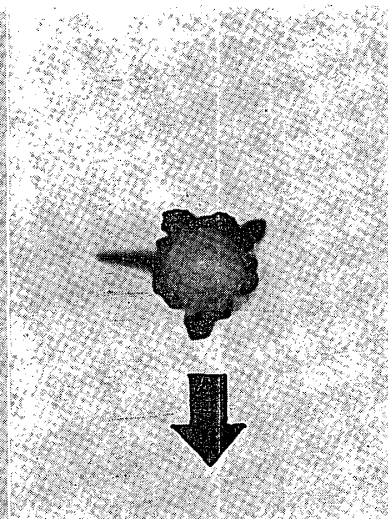


Photo. 4. The cross figure of the stem at the maximum curvature which gave the values marked as $-\odot-$ on the graph in Fig. 2. The arrow indicates the same as in Photo. 1.

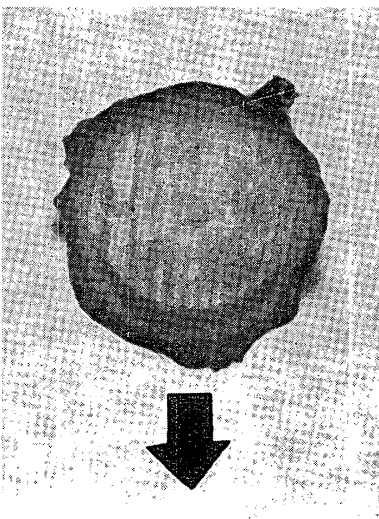


(a)

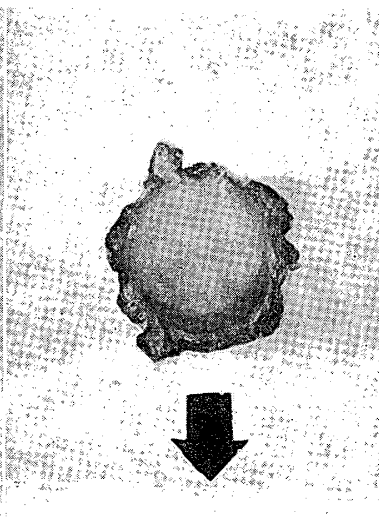


(b)

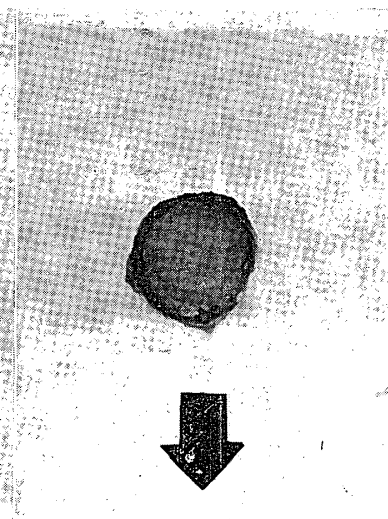
Photo. 5. The cross figures of the stem which gave the values marked as $-\textcircled{1}-$ on the graph in Fig. 3. (a), (b) and the arrows indicate the same as in Photo. 1, respectively. As the geotropic recovery didn't take place, the part corresponding to the mark (c) was absent.



(a)



(b)



(c)

Photo. 6. The cross figures of the stem which gave the values marked as $-\ominus-$ on the graph in Fig. 3. (a), (b), (c) and the arrows indicate the same as in Photo. 1, respectively.

肉眼的に見分けられる アテ材が つねに下側（屈向性の部分でも）に生じていることを確認した。

また一定撓み下で生育，形成された アテ木部の 赤外スペクトルにおいては，セルロースの C-O 伸縮振動と考えられている¹⁰⁾ 1060 および 1030 cm^{-1} の 2 つの吸収帯の分離が不鮮明となることはほぼ確実である。とくに，外部変形による最大曲点においてこの傾向はいちじるし

い。このことは応力下で形成されるスギアテ材の分子構造の1つの特徴と考えるもよいと思われる。

その他、アテの赤外スペクトルの変化としては CH_2 縦ゆれ振動といわれる¹⁰⁾ 1310cm^{-1} の吸収の減少, OH の面内変角振動と考えられる¹⁰⁾ 1210cm^{-1} の吸収の増加も認められるが、この点に関する確認はまだ不十分である。

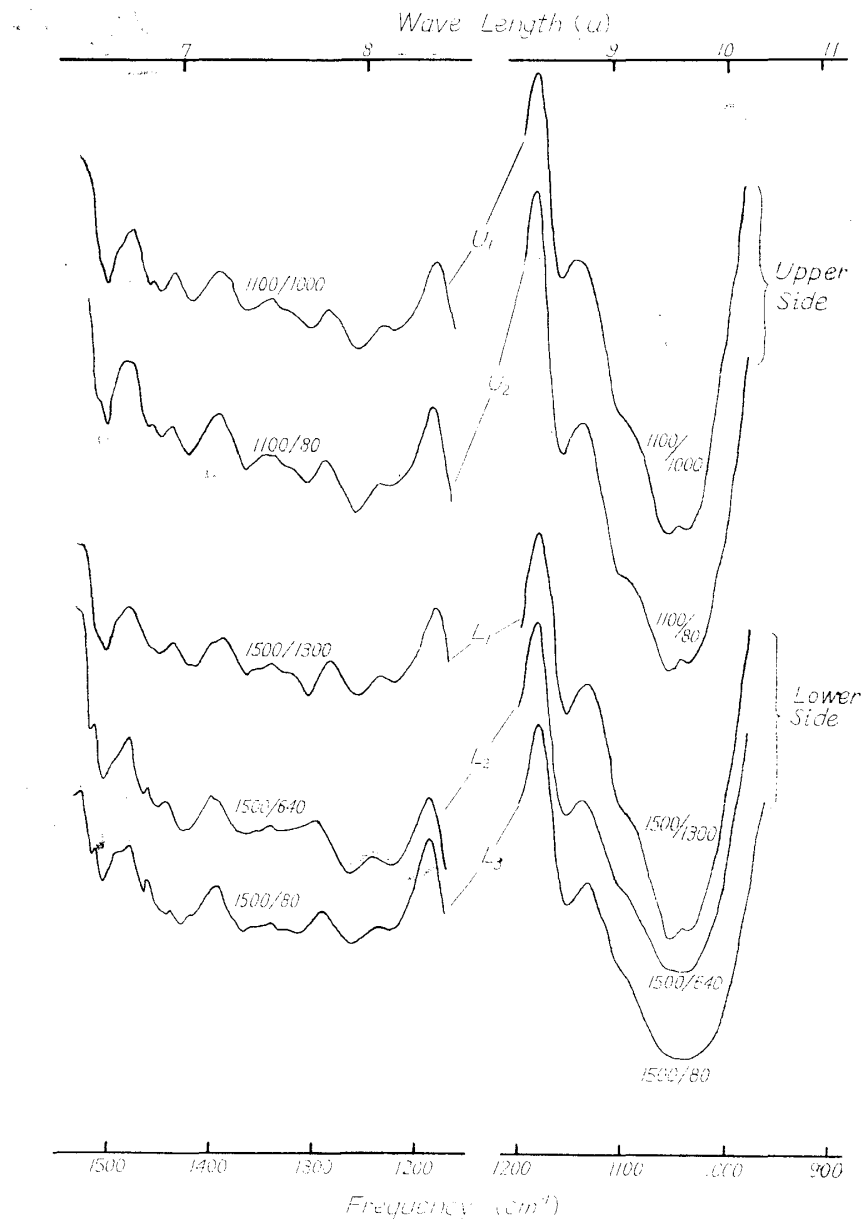


Fig. 4 An example of infrared spectra of the stem grown under a constant deflection. They were obtained from the continuous tangential sections of the stem shown in Photo. 1-a. The first term in A/B on the spectrum line indicates the radial growth in 1968 and the second term indicates the section depth from cambium to the pith in μ , respectively. The infrared spectra of reaction wood (L_2 and L_3) are shown comparing with those of upper side (U_1 and U_2). The sample of L_1 was taken from the lower side of the stem without containing an apparent reaction wood.

以上の結果を比較的是つかり示している 1 例を Fig. 4 に示した。図中の数字はスペクトルを測定した切片の採取位置を示し、たとえば 1100/80 は 1968 年中に生育した部分が 1100μ あり、切片はこのうち形成層より約 80μ 入った位置より採取したものであることを示す。またアテ材の赤外スペクトルは図中の L_2 , L_3 である。

一定撓み下で枯死せしめた試料および標準としてとつた正常に成育した試料の赤外スペクトルはどの部分においても、Fig. 4 の U_1 , U_2 , L_1 のいずれかと変らないものが得られた。

一定撓み下で形成される木部材質の分子構造など微細構造の変化については、X 線回折など今後の研究に期待される点が多い。

摘 要

木材形成過程を物理的とくに粘弾性論的観点より追求するために、スギ幼木の樹幹を春材形成期および夏材形成末期より水平位置まで曲げ、この撓みを一定に保つに要する力を経時的に測定し、荷重変化の各段階に対応する分子構造変化を、マイクロトームによる連続切片を用いて、 $4000\sim 650\text{cm}^{-1}$ にわたる赤外スペクトルにより調べた。

得られた結果は次の通りである。

(1) 一定撓みを保つに要する力は始め緩和するが、その後力の復帰が始まり、形成層活動の終了まで続き、10月頃にはほぼ一定値に達するかあるいはやや減少の傾向を示す。

(2) 春材形成期に曲げた材は力の復帰が約 400 時間後に始まり、初期荷重をはるかに超える。夏材形成末期に曲げた材は約 600 時間後に回復を開始した。

(3) 肉眼的に見た場合のアテは幹の下側（屈向性の部分でも）につねに生じた。

(4) 一定撓み下で形成されたスギアテ材木部の赤外スペクトルにおいては 1060 および 1030cm^{-1} の吸収帯の分離が不鮮明となる傾向があり、外部変形による最大曲点でこの傾向がとくにいちじるしい。

Summary

The present note gives a physical information on process of wood formation in special relation with rheology.

About 30 growing stems of young SUGI trees (*Cryptomeria japonica* D. DON) were bent and kept into horizontal position from the season of early wood formation (May, 1968) and from the end of late wood formation (August, 1968). And the load required to keep the stems horizontally was measured with spring balances. (Fig. 1).

To know the changes of molecular structure of the cell wall of xylem at each loading process, the infrared spectra in the range of $4000\sim 650\text{cm}^{-1}$ were obtained. For this purpose, thin longitudinal tangential sections ($15\sim 20\mu$) were sliced continuously from the bark to the pith with a microtome.

The results obtained were as follows :

(1) The force required to keep the stem horizontally relaxed at the initial stage. In the second stage, the recovery of the force took place and increased upto October,

1968. And, in the third stage, the force kept constant value or decreased slightly upto January, 1969.

(2) In the stems bent from spring, the force recovery took place after about 400 hrs. and the force exceeded the initial value far over. In the stems bent from summer, however, the force recovery took place after about 600 hrs. and the force increased slightly (Figs. 2, 3).

(3) The reaction wood was formed always at the lower side of the stems even at the portion of maximum curvature of geotropic recovery (Photos. 1~6).

(4) It may be believed that infrared spectra of the reaction wood formed in bent stems showed more vague separation between two absorption bands at 1060 and 1030 cm^{-1} , especially in the section obtained from the portion of maximum curvature by bending, than normal xylem (Fig. 4).

引 用 文 献

- 1) 尾中文彦, 木材研究, No. 1, 1 (1949).
- 2) CÔTÉ, W. A. and A. C. DAY, Cellular Ultrastructure of Woody Plants, (ed. by W. A. CÔTÉ), p. 391, N. Y., Syracuse Univ. Press (1965).
- 3) WARDROP, A. B., Australian J. Bot., 4, 152 (1956).
- 4) CÔTÉ, W. A., N. P. KUTSCHA, B. W. SIMSON and T. E. TIMELL, Tappi, 51, 33 (1968).
- 5) TIMELL, T. E., Cellular Ultrastructure of Woody Plants (ed. by W. A. CÔTÉ), p. 127, N. Y., Syracuse Univ. Press (1965).
- 6) WARDROP, A. B. and H. E. DADSWELL, Australian J. Bot., 3, 177 (1955).
- 7) CASPERSON, G. and A. ZINSSER, Holz als Roh- und Werkstoff, 23, 49 (1965).
- 8) SCURFIELD, G., Holzforschung, 21, 6 (1967).
- 9) 伊東隆夫, 林 昭三, 貴島恒夫, 木材研究, No. 45, 23 (1968).
- 10) LIANG, C. Y. and R. H. MARCHESSAULT, J. Polym. Sci., 39, 269 (1959).